

CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA PLANTAÇÕES DE PINUS TAEDA NOS ESTADOS DO PARANÁ E SANTA CATARINA.

José Roberto Soares Scolforo*
Sebastião A. Machado**

SUMMARY

The main objectives of this research were to construct site index curves and to test polymorphism of them.

The data came from stem analysis of 92 dominant trees, and from the measurement of dominant height in 324 temporary sample plots from the National Forestry Inventory, distributed all over the States of Paraná and Santa Catarina. The oldest trees came from the National Forest of Irati. The sample covered all sites and ages from 1 to 27 years old.

Seven regression models were tested to fit the dominant height — age relationship. Statistical and residual analysis indicated that the Chapman — Richards biological model was also the best for Pinus taeda. A linear regression with intercept zero was used to fit site index values over dominant height for several ages. The linearity was found and indicated the validity of the derived site index curves. The stability of the derived site index curves was also tested by using a distinct set of data coming from 43 stem analysed trees. All applied tests gave evidences that the developed set of site index curves will provide unbiased estimates of height growth of dominant trees for all site classes. Therefore they can be used for site classification for Pinus taeda in the States of Paraná and Santa Catarina, and very likely for the States of Rio Grande do Sul and São Paulo where this species is also planted. Meanwhile tests should be done for using these curves for another regions outside the places where the sample was taken.

1. INTRODUÇÃO

A classificação das terras florestais quanto ao seu potencial de produtividade é um importante elemento, tanto para o manejador, como para o administrador da empresa florestal, já que o índice que expressa esta produtividade é uma variável requerida nos modelos de predição presente e futura do crescimento e da produção.

A importância desta classificação é entretanto muito mais ampla, podendo ser a base da estratificação dos povoamentos florestais, tanto para fins de inventário como para fins de exploração com base num rendimento sustentado, ou ainda clarificando as possibilidades e riscos para o manejo das florestas, sendo portanto uma variável a ser considerada em planejamentos local, regional, de curto ou de longo prazo.

Segundo SCHONAU¹⁷ os ecologistas e os manejadores florestais definem sítio a partir de pontos de vista diferentes:

como uma unidade geográfica uniforme caracterizada por uma certa combinação estável dos fatores de sítio e como um fator de produção primário capaz de produzir madeira ou produtos florestais a eles associados, respectivamente.

KILLIAN¹¹ tem apontado que estes conceitos são complementares e que uma classificação de sítio do ponto de vista ecológico pode e deve preceder a determinação da capacidade produtiva dos locais.

Vários são os métodos que possibilitam expressar a capacidade produtiva, podendo-se citar os fatores edáficos, topográficos e climáticos, isoladamente ou associados em uma multifatorial, estimativas baseadas na vegetação rasteira, e ainda estimativas baseadas na resposta do crescimento das árvores, como comparações com registros históricos, volume produzido no sítio em questão, área basal, altura média das árvores do povoamento ou altura das árvores dominantes, dentre outros métodos possíveis.

* Eng^o Florestal, M. Sc., Estudante de Doutorado da UFPR, Prof. Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da ESAL.

** Eng^o Florestal, M. Sc., Ph. D., Prof. Titular do Curso de Eng^o Florestal da UFPR, Pesquisador do CNPq.

Dentre estes métodos parece haver unanimidade em se utilizar o índice de sítio baseado na altura média das árvores dominantes e condominantes como sendo a medida mais prática, além de apresentar eficiência, na estimativa do potencial de produtividade relativa dos locais, já que a hdom não é afetada por tratamentos silviculturais, como o desbaste por exemplo, enquanto o são o volume, a área basal, a altura média ou o incremento periódico de qualquer destas variáveis.

Pode-se constatar a predominância do uso da altura dominante em uma série de trabalhos, destacando-se os de MACHADO¹⁵, CAMPOS et alii⁶, BORDERS & BAILEY⁴, BATISTA & COUTO², KIRBY¹³, KING¹², CLUTER et alii⁷, BAILEY et alii³, LUNDGREN & DOLID¹⁴, BRICKELL⁵, dentre muitos outros.

AVERY e BURKHART¹ apresentam uma síntese das limitações do Índice de Sítio. Com certa frequência a idade exata do povoamento não é determinada e pequenos erros podem causar relativamente grandes mudanças no valor de índice de sítio; o conceito de índice de sítio não é apropriado para florestas naturais; os efeitos da densidade do povoamento não são considerados, exceto pela seleção casual das árvores de sítio em povoamentos bem estocados que não tenham sido afetados por supressão passada. Outras variáveis associadas com o volume do povoamento (por ex. DAP, forma do tronco) não são diretamente levados em consideração. Como resultado, um índice baseado na altura total e idade não pode fornecer uma estimativa válida da capacidade de crescimento para um sítio particular; o índice de sítio não é uma constante, mudando periodicamente devido a variações ambientais e climáticas, exceto em instâncias limitadas, o valor dos IS de uma espécie não pode ser usado como índice de diferentes espécies num mesmo sítio.

Ainda os mesmos autores enfatizam que apesar das limitações citadas, o índi-

ce de sítio é uma boa ferramenta porque fornece um valor numérico simples que é facilmente mensurado e compreendido por técnicos florestais. Este procedimento será usado até o dia em que vários fatores afetando a produtividade da floresta possam ser reduzidos para uma medida igualmente simples e que seja mensurada quantitativamente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados deste estudo provêm de povoamentos bem estocados de *Pinus taeda* aparentemente sem distúrbios passados como incêndios, ataques de pragas, ocorrência de doenças, dentre outros. Tais povoamentos estão distribuídos em várias regiões ecológicas do Estado do Paraná e Santa Catarina.

A amostragem é semelhante a considerada em SCOLFORO & MACHADO¹⁹ sendo utilizados 1522 pares de valores altura — idade provenientes de análise de tronco de 92 árvores dominantes, além da altura média de 6 árvores de maiores diâmetros, advindas de 324 parcelas do Inventário Nacional e de parcelas das Flonas de Capão Bonito e Irati. As árvores amostradas cobriram diferentes sítios e idades conforme pode ser visto na TABELA 01.

Sete modelos foram utilizados para expressar a relação entre altura dominante e idade, conforme apresentados na TABELA 02.

Os cinco primeiros modelos foram ajustados por regressão linear, enquanto os dois últimos, que são modelos que expressam o padrão de desenvolvimento biológico foram ajustados por regressão não lineares, usando método de Marquardt (ver DRAPER & SMITH⁹).

Os critérios de escolha do modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados amostrados foram o coeficiente de determinação R^2 , o erro padrão da estimativa (EPE), e principalmente a análise visual dos resíduos, distribuídos em relação à idade.

TABELA 01: Distribuição dos pares de valores altura — idade usados para construir curvas de índice de sítio por idade e classe de sítio.

IDADE EM ANOS	CLASSES DE SÍTIO					TOTAL POR CLASSE DE IDADE
	I	II	III	IV	V	
1	7	4	9	11	54	85
2	5	8	19	27	32	91
3	4	17	33	22	23	99
4	10	23	43	35	18	129
5	6	36	33	27	18	120
6	5	30	50	21	7	113
7	3	28	49	30	10	111
8	2	24	48	23	2	99
9	7	17	62	23	5	114
10	4	9	40	20	5	78
11	4	20	38	29	6	97
12	4	10	29	24	6	73
13	4	9	37	28	8	86
14	5	14	20	23	5	67
15	5	7	22	23	5	62
16	4	6	22	21	5	58
17	—	1	3	14	5	23
18	—	—	—	1	—	1
19	—	—	—	—	—	—
20	1	3	3	2	—	9
21	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—
26	—	3	—	—	—	3
27	—	4	—	—	—	4
TOTAL POR CLASSE DE SÍTIO	80	273	551	404	214	1522

TABELA 02: Modelos para Expressar a relação HDOM — Idade.

1. $\ln H_{dom} = -b_0 + b_1 \left(\frac{1}{I} \right)$
2. $H_{dom} = b_0 + b_1 \ln I$
3. $\ln H_{dom} = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{I} \right) + b_2 \left(\frac{1}{I^2} \right)$
4. $\ln H_{dom} = b_0 + b_1 \left(\frac{1}{I} \right) + b_2 \left(\frac{1}{I^2} \right) + b_3 \left(\frac{1}{I^3} \right)$
5. $H_{dom} = \frac{b_0 + b_1 I + b_2 I^2}{I^2}$
6. $H_{dom} = b_0 (1 - \exp(-b_1 I))$
7. $H_{dom} = b_0 (1 - \exp(-b_1 I))^{b_2}$
sendo que $b_2 = 1 / (1 - m)$

onde:

Hdom — altura das árvores dominantes em metros

I — idades em anos

exp — exponencial

ln — logaritmo natural

b — coeficientes de regressão

is

A idade índice estabelecida foi de 20 anos e o intervalo entre as classes de sítio foi de 4,5 metros.

O modelo escolhido foi rearranjado em relação ao índice de sítio (IS) com o intuito de se obter a família de curvas que expresse os diferentes graus de produtividade das terras florestais para *Pinus taeda* no Estado do Paraná e Santa Catarina.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados de altura utilizados atendem ao requisito básico da regressão de que haja homogeneidade de variância.

Os coeficientes dos modelos testados assim como suas medidas de precisão são apresentadas na TABELA 03.

TABELA 03: Coeficientes e medidas de precisão dos modelos testados para expressar relação altura-idade para *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina.

MODELOS	COEFICIENTES				R ² (%)	EPE(m)
	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃		
1	2,93291	-3,45012			83,68	3,30
2	-2,46014	7,39619			78,74	2,84
3	3,27028	-6,32870	2,90969		88,50	2,65
4	3,417176	-8,32829	8,84 806	-4,10668	88,75	2,58
5	0,403671	0,504319	0,019005		81,80	2,62
6	35,18000	0,052000			96,14	2,55
7	30,17500	0,072009	1,11150		96,14	2,54

Observe que o coeficiente de determinação (R²) foi transformado para que se efetue uma comparação correta entre os modelos, e que o erro padrão da estimativa (EPE) dos modelos logarítmicos que são para este caso originalmente em ln de metro, são apresentados em metro pois efetuou-se a devida transformação do quadrado médio do erro dos referidos modelos.

Os valores de t foram significativos ao nível de 5% para todos os coeficientes dos sete modelos testados.

Pela análise gráfica dos resíduos observou-se que os modelos 4, 5, 6 e 7 apresentaram distribuição sem tendência, entretanto o modelo (7) de Chapman e Richards apresentou-se nitidamente superior aos demais.

Para fins de visualização pode-se observar a distribuição gráfica dos resíduos para *Pinus elliottii* em SCOLFORO & MACHADO¹⁰. As tendências observadas para *Pinus taeda* são semelhantes aquelas apresentadas pelos sete modelos ajustados para *Pinus elliottii*, com a ressalva de que sua distribuição para o modelo de Chapman — Richards apresentou uma maior nitidez que a dos modelos 4, 5 e 6, em comparação aquela visualizada para *Pinus elliottii*.

Outro fato que veio somar para a escolha do modelo biológico de Chapman — Richards é que a soma dos desvios em relação a curva ajustada ficou mais próxima a zero do que a dos demais modelos, sendo igual a -0,010643m.

Assim, o modelo selecionado foi:

$$H_{dom} = 30,1750(1 - \exp(-0,07200I))^{1,11150} (7)$$

$$R^2 = 96,14\%$$

$$EPE = 2,54m$$

onde o valor 30,1750 correspondente ao coeficiente b₀, expressa o valor assintótico do crescimento médio em altura para *Pinus taeda*. O valor 0,072 correspondente ao coeficiente b₁, expressa a taxa de crescimento que define a inclinação média da curva de crescimento.

Já o valor 1,11150 correspondente ao coeficiente b₂, na realidade possibilita encontrar o valor do coeficiente "m" que expressa a localização do ponto de inflexão na curva de crescimento e exclusivamente determina a forma da curva sigmoide. Neste caso

$$b_2 = \frac{1}{1-m} = 1,11150 \therefore m = 0,1003148$$

Observe que quando $m = 0$ a curva não tem ponto de inflexão e o modelo (7) reduz-se ao modelo monomolecular (6).

Segundo LUNDGREN & BOLID¹⁴ quando os dados disponíveis de altura estão relacionados com o crescimento, funções de crescimento biológico parecem ser mais apropriadas do que as polinomiais, o que vem de encontro aos resultados obtidos no presente trabalho.

Para gerar as curvas de índice de sítio o modelo (7) foi rearranjado em relação ao índice de sítio, assumindo a forma

$$H_{dom} = \frac{IS (1 - \exp(+ b_1 I))^{b_2}}{(1 - \exp(+ b_1 I_{ref}))^{b_2}} \text{ assim}$$

$H_{dom} = 1,350604868 \quad IS (1 - \exp(- 0,07200 I) \cdot 1,11150 (8)$, equação que permite gerar a família de curvas de índice de Sítio e suas respectivas classes de sítio, como pode ser visto graficamente na FIGURA 1 e numericamente na TABELA 04.

Observa-se na TABELA 04 que por exemplo ao tirar a média entre os limites inferiores e superiores das classes de sítio se obtém o valor da altura para o índice de sítio correspondente àquela classe; o mesmo resultado será obtido ao usar a equação (8).

Exemplificando para a idade de 30 anos encontra-se para os Índices de Sítio 14,25; 18,75; 23,25; 27,25 e 32,15 tem-se respectivamente as alturas 16,79 m, 22,10 m, 27,40 m, 32,71 m, 38,01 m.

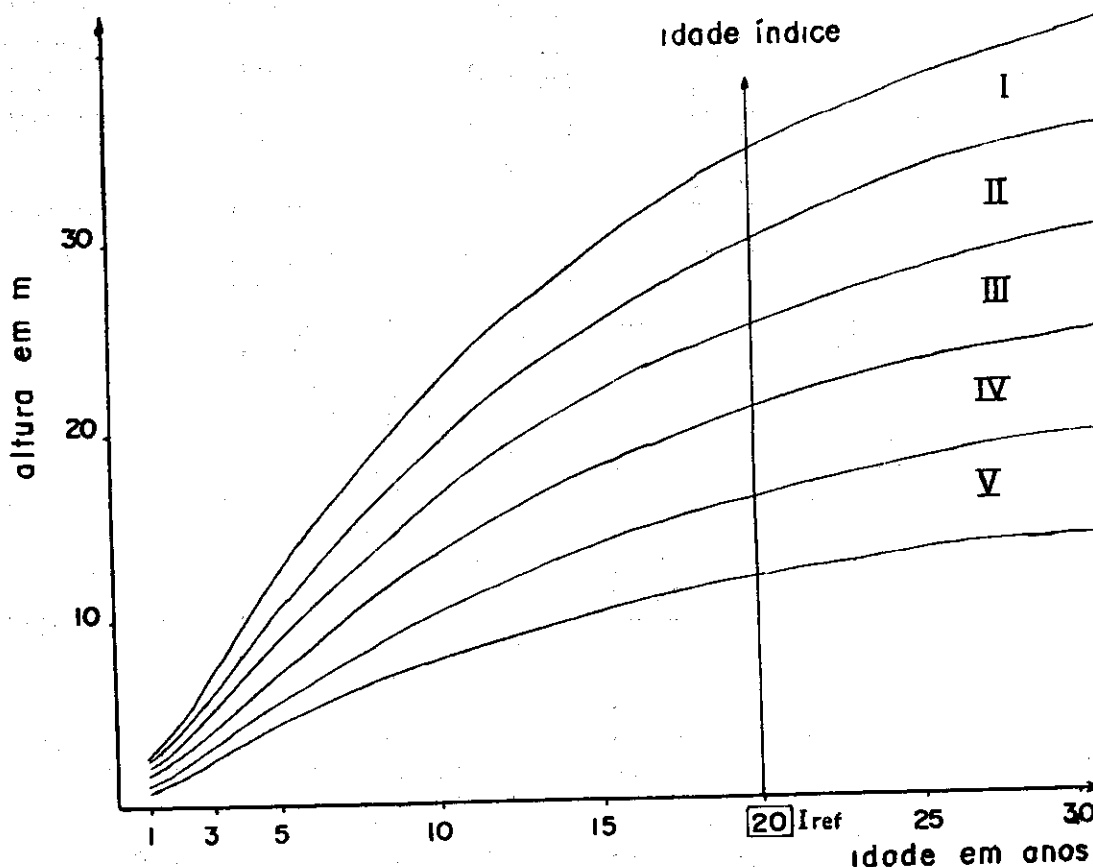


FIGURA 1: Curvas que expressam as classes de sítio para Pinus taeda no Estado do Paraná e Santa Catarina.

TABELA 04: Limites das alturas estimadas em metro por idade e classes de sítio

IDADE EM ANOS	CLASSES DE QUALIDADE				
	V	IV	III	II	I
1	0,84-1,15	1,15-1,46	1,46-1,78	1,78-2,09	2,09-2,40
2	1,74-2,39	2,39-3,04	3,04-3,69	3,69-4,34	4,34-4,99
3	2,62-3,61	3,61-4,59	4,59-5,57	5,57-6,56	6,56-7,54
4	3,48-4,78	4,78-6,08	6,08-7,38	7,38-8,69	8,69-9,99
5	4,29-5,90	5,90-7,50	7,50-9,11	9,11-10,72	10,72-12,33
6	5,06-6,96	6,69-8,85	8,85-10,75	10,75-12,65	12,65-14,54
7	5,79-7,96	7,96-10,13	10,13-12,30	12,30-14,47	14,47-16,64
8	6,47-8,90	8,90-11,33	11,33-13,75	13,75-16,18	16,18-18,61
9	7,12-9,79	9,79-12,45	12,45-15,12	15,12-17,79	17,79-20,46
10	7,72-10,62	10,62-13,51	13,51-16,41	16,41-19,31	19,31-22,20
11	8,29-11,40	11,40-14,51	14,51-17,62	17,62-20,72	20,72-23,83
12	8,82-12,13	12,13-15,44	15,44-18,75	18,75-22,05	22,05-25,36
13	9,32-12,81	12,81-16,31	16,31-19,80	19,80-23,30	23,30-26,79
14	9,78-13,45	13,45-17,12	17,12-20,79	20,79-24,46	24,46-28,13
15	10,22-14,05	14,05-17,88	17,88-21,72	21,72-25,55	25,55-29,38
16	10,63-14,61	14,61-18,60	18,60-22,58	22,58-26,57	26,57-30,55
17	11,01-15,13	15,13-19,26	19,26-23,39	23,39-27,57	27,51-31,64
18	11,36-15,62	15,62-19,88	19,88-24,14	24,14-28,40	28,40-32,66
19	11,69-16,08	16,08-20,46	20,46-24,84	24,84-29,23	29,23-33,61
20	12,00-16,50	16,50-21,00	21,00-25,50	25,50-30,00	30,00-34,50
21	12,29-16,90	16,90-21,50	21,50-26,11	26,11-30,72	30,72-35,33
22	12,56-17,27	17,27-21,97	21,97-26,68	26,68-31,39	31,39-36,10
23	12,81-17,61	17,61-22,41	22,41-27,22	27,22-32,02	32,02-36,82
24	13,04-17,93	17,93-22,82	22,82-27,71	27,71-32,60	32,60-37,49
25	13,26-18,23	18,23-23,20	23,20-28,17	28,17-33,15	33,15-38,12
26	13,46-18,51	18,51-23,56	23,56-28,61	28,61-33,65	33,65-38,70
27	13,65-18,77	18,77-23,89	23,89-29,01	29,01-34,13	34,13-39,24
28	13,83-19,01	19,01-24,20	24,20-29,38	29,38-34,57	34,57-39,75
29	13,99-19,24	19,24-24,48	24,48-29,73	29,73-34,98	34,98-40,22
30	14,14-19,45	19,45-24,75	24,75-30,06	30,06-35,36	35,36-40,66
31	14,29-19,64	19,64-25,00	25,00-30,36	30,36-35,72	35,72-41,07
32	14,42-19,83	19,83-25,23	25,23-30,64	30,64-36,05	36,05-41,45
33	14,54-20,00	20,00-25,45	25,45-30,90	30,90-36,36	36,36-41,81
34	14,66-20,15	20,15-25,65	25,65-31,15	31,15-36,64	36,64-42,14
35	14,76-20,30	20,30-25,84	25,84-31,37	31,37-36,91	36,91-42,45

Quando faz-se a projeção das alturas usando a equação (8) e os índices de sítio mencionados anteriormente, para, por exemplo, a idade de 60 anos encontra-se os seguintes valores em altura: 18,96 m; 24,95 m; 30,94 m; 36,93 e 42,91 m valores que se comparados aqueles obtidos na idade de 30 anos, representam uma diferença de 2,17 m; 2,85 m; 3,54 m; 4,22 m; 4,90 m respectivamente para os sítios 14,25; 18,75; 23,25; 27,25 em um intervalo de 30 anos.

Este procedimento é possível de ser utilizado pois faz-se uso de um modelo biológico de crescimento associado a uma base sólida de amostragem dos dados.

Verifica-se que o crescimento em altura para *Pinus taeda* a partir da idade de 30 anos ou mesmo antes, passa a ter um incremento bastante reduzido, bas-

tando verificar que nos sítios extremos este crescimento foi de apenas 2,17 m, e 4,90 metros em 30 anos.

Da equação (8) pode-se obter a hdom para qualquer IS numa dada idade. Assim para o IS = 23,25 na idade 25 anos a hdom é de 25,69 m. Da mesma maneira rearranjando (8) em relação ao índice de sítio pode-se obtê-lo para qualquer hdom numa dada idade. $IS = Hdom (1,350604868 (1 - \exp(-0,07200I)))^{-1}$ (9), então para uma altura de 25,69 m na idade 25 anos o IS é 23,25 m.

O crescimento anual em altura em qualquer idade num dado sítio pode ser estimado pela equação obtida através da primeira derivada da equação (8).

$$\Delta H = \frac{\Delta H}{\Delta I} = b_0 b_1 b_2 (-e^{b_1 I})$$

$$(1 - e^{b_1 I})^{b_2 - 1} \cdot IS \quad (10)$$

substituindo em (10) a equação que expressa o crescimento em altura em função do IS e idade (8) pode-se reduzi-la a seguinte forma:

$$\Delta H = -b_1 b_2 (e^{-b_1 I - 1})^{-1} H_{dom} \quad (11),$$

que é a forma sintetizada de estimar o crescimento anual em altura e que pela substituição de seus coeficientes pode ser expressa como:

$$\Delta H = + 0,08028 (e^{+0,0700I} - 1)^{-1} H_{dom} \quad (12)$$

Assim na idade 25 o crescimento anual em altura para *Pinus taeda* no IS = 23,25 será $\Delta H = 0,4071$ m.

Observe que o efeito do sítio na equação (12) está embutido em H_{dom} , pois este valor advém da expressão (8).

4. VALIDADE DOS RESULTADOS

KIRBY¹³ descreve que a "validade do modelo" usado para derivar a equação escolhida é dependente de uma relação linear entre índice de sítio e a altura das árvores dominantes para as várias idades em questão. Cita ainda conforme

constatação de Johnsson & Worthington em 1963, que a dispersão das observações individuais acerca da linha de regressão sugerem uma relação linear com intercepto zero como sendo uma suposição válida para a maioria dos casos.

Tal procedimento foi efetuado em *Pinus taeda* e verificou-se uma forte correlação entre os IS e as alturas dominantes em todas as idades de trabalho, conforme pode ser visto nas FIGURAS 2, 3, 4 e 5 onde são apresentadas as relações IS— h_{dom} em 4 idades colocadas aleatoriamente.

Os resultados encontrados para *Pinus taeda* estão em consonância com aqueles encontrados em KIRBY¹³ e em CAMPOS⁶.

Verificou-se ainda que em nenhuma idade o R^2 foi inferior a 99% e que o valor de b_1 na idade índice é igual a 1, expressando uma inclinação da reta de 45°. Nas idades inferiores a 20 anos (idade índice) verificou-se valores crescentes de b_1 a medida que se caminha para a idade zero e valores inferiores a 1 e em ordem decrescente a medida que se caminha em direção a idade onde ocorre o valor assintótico em altura dominante. Tal fato vem comprovar o anamorfismo das curvas de IS.

FIGURA 02: Índice de Sítio em relação a altura dominante na idade de 5 anos para Pinus taeda ($b_0 = 0$; $b_1 = 2,798925$)

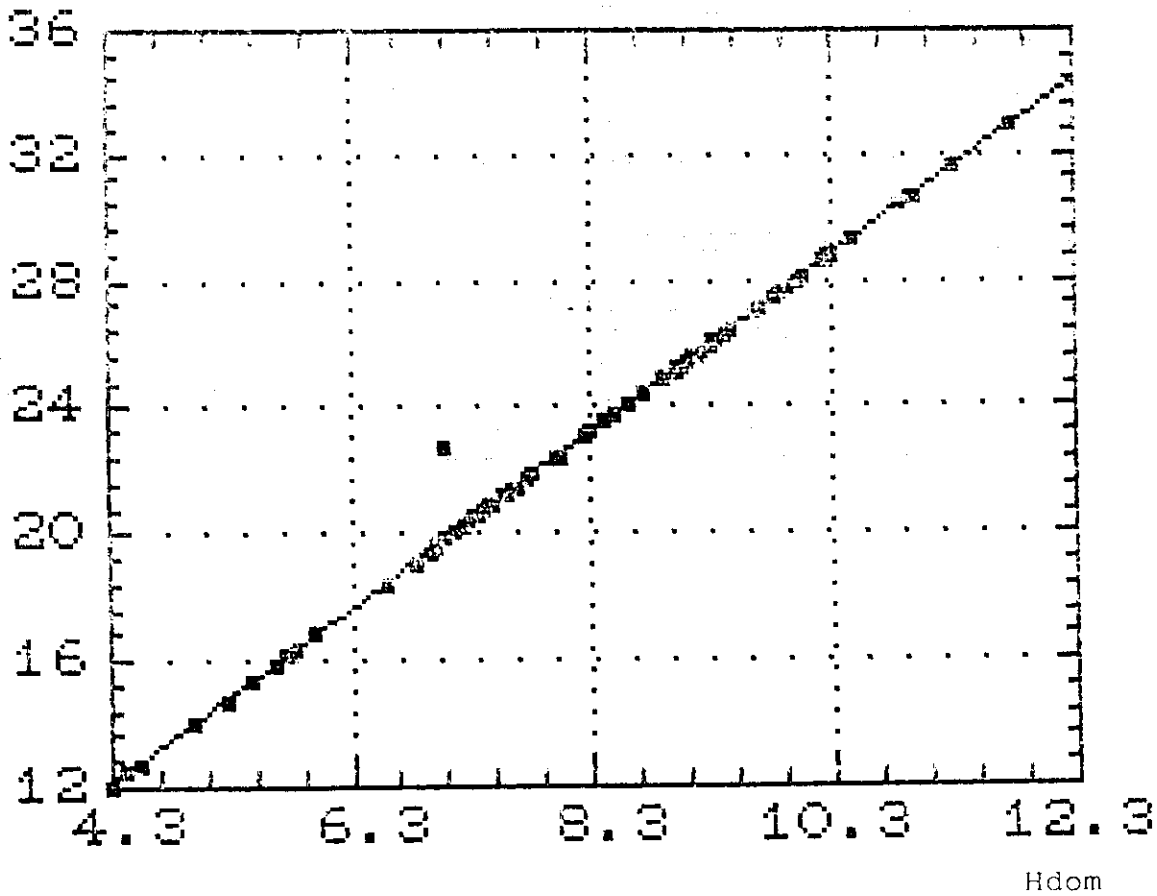


FIGURA 03: Índice de Sítio em relação a altura dominante na idade de 10 anos para Pinus taeda
($b_0 = 0$; $b_1 = 1,552472$)

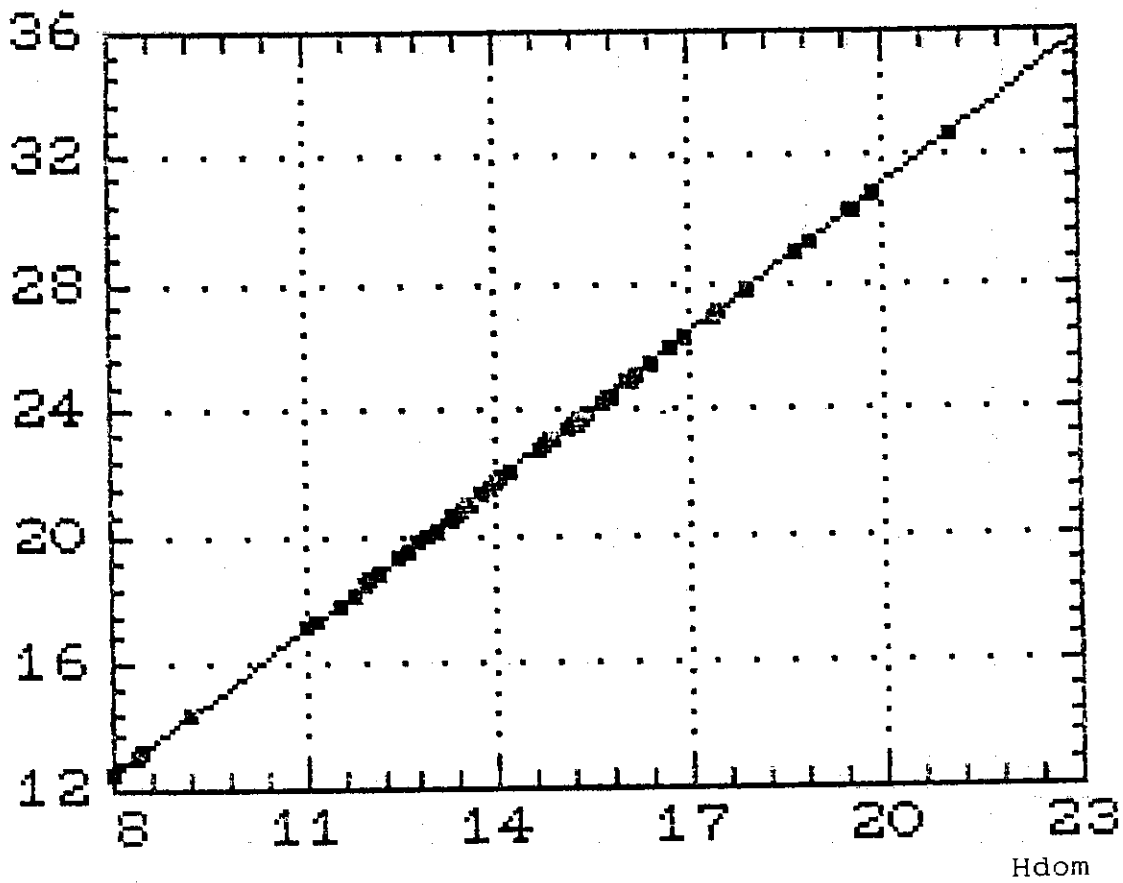


FIGURA 04: Índice de Sítio em relação a altura dominante na idade de 15 anos para Pinus taeda
($b_0 = 0$; $b_1 = 1,128261$)

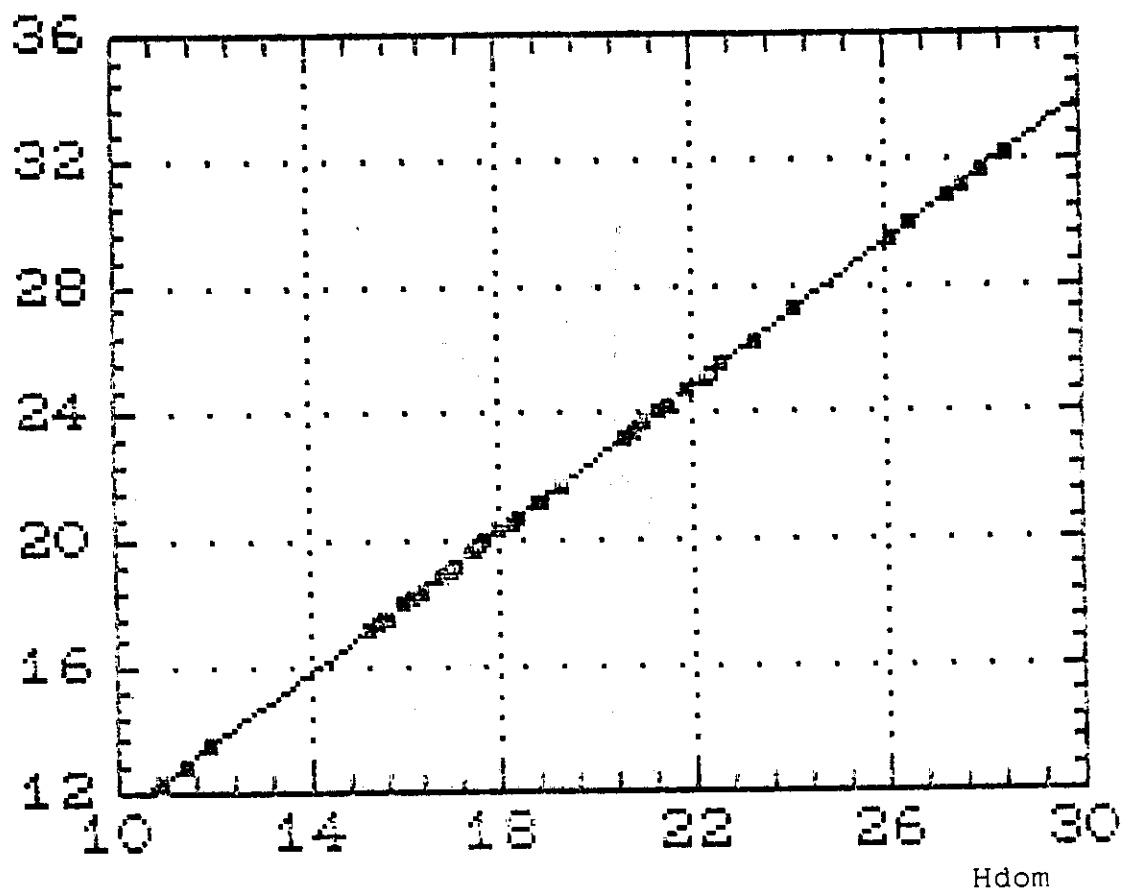
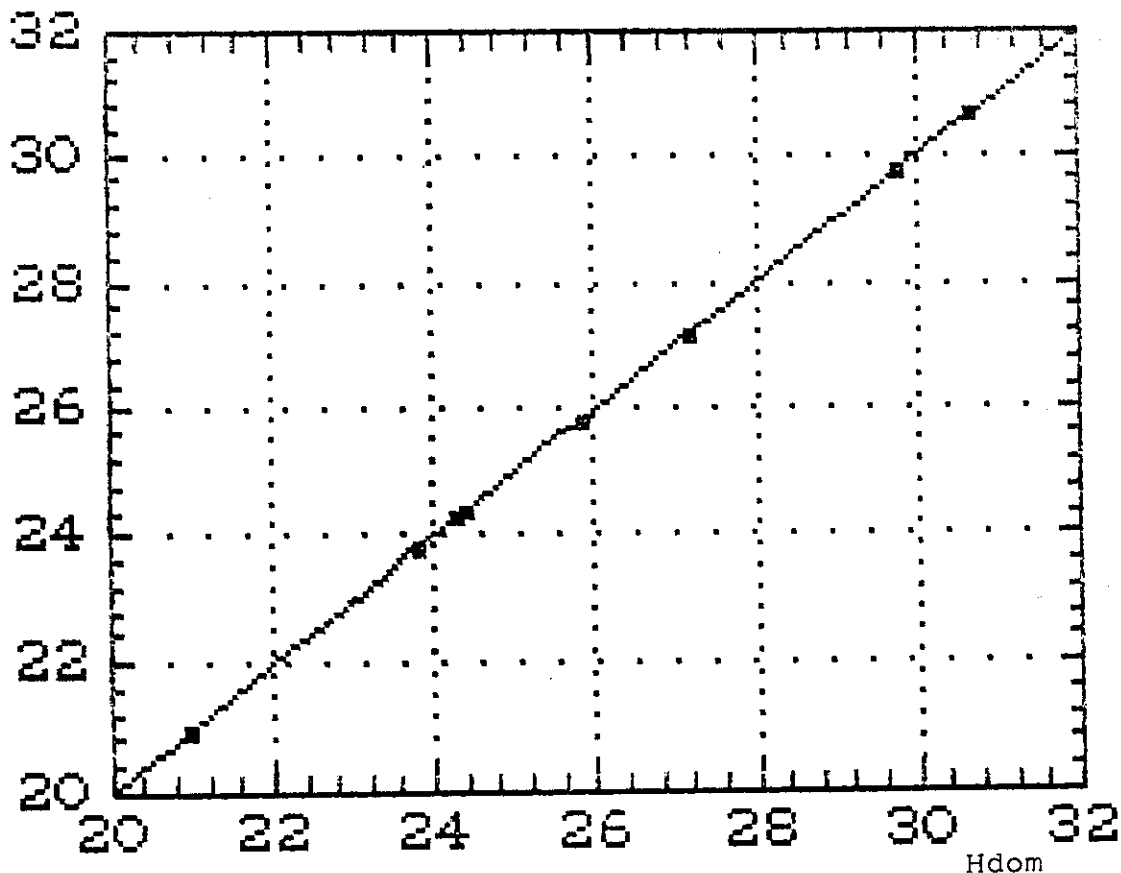


FIGURA 05: Índice de Sítio em relação a altura dominante na idade de 20 anos para *Pinus taeda* ($b_0 = 0$; $b_1 = 0,99076$)



Adotou-se ainda o critério de verificação da estabilidade das alturas das árvores ao longo das curvas que expressam as classes de sítio, conforme procedimento adotado em SCOLFORO & MACHADO¹⁰, MACHADO¹⁶ e KING¹².

Para tal utilizou-se de 43 árvores advindas de análise de tronco (até 17 anos), sendo que apenas 3 não apresentaram desenvolvimento em altura estável dentro da respectiva classe de sítio.

Na FIGURA 06 pode-se visualizar este padrão de desenvolvimento em altura para 5 árvores (uma por sítio) selecionadas casualmente naquelas 40 árvores testadas com sucesso.

Estes resultados foram plenamente satisfatórios e vem de encontro a afirmativas encontradas em CLUTTER et alii⁷ de que a essência da confecção das curvas de IS é que a altura dominante média das árvores da parcela permane-

çam numa mesma classe de sítio durante toda a sua vida, pois desta maneira esta classificação propiciará uma forte base para os estudos de crescimento e produção florestal.

Pode-se também verificar que de maneira geral a medida em que o povoamento florestal vai se estabelecendo, menores são as variações observadas no padrão de desenvolvimento em altura o que leva a uma maior estabilidade da altura na respectiva classe de sítio.

Notouse que durante os primeiros anos, principalmente os 3 ou 5 iniciais, ocorre uma grande flutuação no desenvolvimento em altura, acarretando uma grande imprecisão na classificação de sítio com fins de utilizá-lo na predição da produção futura, seja em área basal, volume ou qualquer outra variável correlacionada.

Recomenda-se que a medida em que mais dados próximos a rotações finais estiverem disponíveis, assim como novos povoamentos incorporando novas

tecnologias, que possíveis mudanças na forma ou inclinação das curvas elaboradas neste trabalho devem ser estudadas e analisadas.

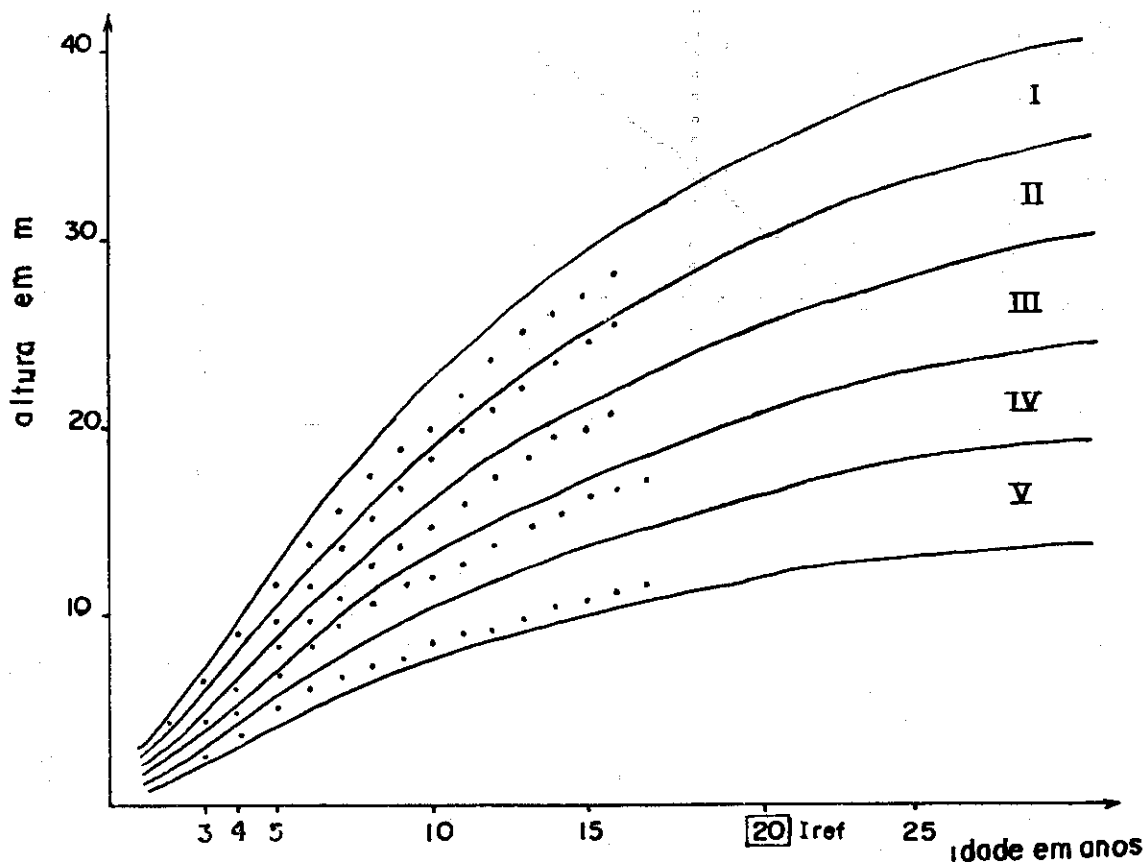


FIGURA 06: Alturas reais por idade advindas de análise de tronco plotadas entre os limites das classes de sítio

TABELA 05: Valores limites de altura nas classes de sítio elaborados neste trabalho (NT) e por Machado (M) para Pinus taeda

IDADE EM ANOS	CLASSES QUALIDADE				
	I	II	III	IV	V
	(NT) (M)	(NT) (M)	(NT) (M)	(NT) (M)	(NT) (M)
5	10,7-12,3 10-10,7	16,4-19,3 16-18	7,5-9,1 8,4-9,2	5,9-7,5 7,5-8,4	4,3-5,9 6,5-7,5
10	19,3-22,2 18-20	21,7-25,5 20,3-23,6	13,5-16,4 14-16	10,6-13,5 12-14	7,7-10,6 10-12
15	25,5-29,4 23,6-27	25,5-30 23,2-27,7	17,9-21,7 17,2-20,3	14-17,9 14,3-17,2	10,2-14 11,6-14,3
20	30-34,5 27,7-32,5	9,1-10,7 9,2-10	21-25,5 19,2-23,2	16,5-21 15,6-19,2	12-16,5 12,3-15,6

As curvas de índice de sítio desenvolvidas neste trabalho e as curvas polimórficas elaboradas por MACHADO¹⁶ para *Pinus taeda* fornecem uma possibilidade de comparação.

Tomando-se as alturas obtidas por MACHADO¹⁶ para as classes de sítio I, II, III, IV e V nas idades de 5, 10, 15 e 20 anos e comparando-as com as obtidas neste trabalho, nestas mesmas idades, conforme visto na TABELA 05, verifica-se uma clara mudança na inclinação das curvas elaboradas neste trabalho em relação as de MACHADO¹⁶ fato perfeitamente esperado, já que mais dados estiveram disponíveis, além de cobrirem uma maior distribuição de classes de idade e de área física, o que pode refletir também uma maior distribuição de classes de sítio.

5. CONCLUSÕES

1. O modelo biológico de Chapman-Richards foi selecionado pela sua superioridade nas medidas de precisão (R^2 e EPE) e análise gráfica dos resíduos, além de ser mais flexível, possibilitando a projeção das alturas para o futuro com base no seu crescimento biológico, o que não invalida o uso dos modelos monomolecular e de Prodan.

2. Observou-se a existência de uma relação linear entre o índice de sítio e as alturas dominantes observadas numa idade pré-determinada o que indica que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local.

3. Ao testar o padrão de desenvolvimento em altura dentro da classe de sítio em que a árvore foi classificada, verificou-se que de 43 árvores provenientes de análise de tronco, apenas 3 não permaneceram estáveis, o que pode ser devido a mudanças nas condições climáticas ou outra condição de meio.

4. Pode-se constatar que árvores que situam-se próximas aos limites das classes de sítio apresentam flutuações para outras classes, o que pode ser devido a mudanças de clima.

5. Verificou-se na maioria das árvores que o padrão de desenvolvimento em altura dentro da classe em que esta foi classificada é muito mais estável a partir de 5 a 6 anos, o que pode ser de-

vido ao melhor estabelecimento do povoamento a partir desta idade.

6. Observou-se que antes dos 3 anos a estabilidade no desenvolvimento em altura dentro da classe é muito pequena o que pode ser devido a fase em que o povoamento ainda está se estabelecendo.

6. RESUMO

Os objetivos principais desta pesquisa foram a construção de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina e testar a existência de poliformismo entre elas.

Os dados usados provieram de análise de tronco de 92 árvores dominantes e da medição de alturas dominantes em 324 parcelas temporárias, do Inventário Nacional, distribuídas por todo o Estado do Paraná e Santa Catarina. As árvores mais velhas foram medidas na Floresta Nacional de Irati. A amostra cobriu todos os sítios e idades de 1 a 27 anos.

Sete modelos de regressão foram testados para ajustar a relação altura dominante sobre idade. Parâmetros estatísticos (R^2 , EPE) e análise de resíduos indicaram que o modelo biológico de Chapman-Richards foi também o melhor para *Pinus taeda*. Uma regressão linear com intercepto zero foi usada para ajustar valores de índice de sítio sobre altura dominante para diversas idades. Foi evidenciada a linearidade, indicando desse modo, a validade das curvas de índice de sítio construídas.

A estabilidade das curvas de índice de sítio foi também testada, usando um conjunto distinto de dados provenientes de análise de tronco de 43 árvores.

Todos os testes aplicados mostraram evidências que o conjunto de curvas desenvolvidas proporcionarão estimativas sem tendenciosidade do crescimento em altura de árvores dominantes para todas as classes de sítio. Deste modo as curvas podem ser usadas para classificação de sítio para *Pinus taeda* nos Estados do Paraná e Santa Catarina e muito provavelmente para os Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo, onde essas espécies são também plantadas. No entanto deve se fazer testes para usar estas curvas para outras regiões externas às cobertas pela amostra usada.

7. BIBLIOGRAFIA

01. AVERY, T.E. & BURKHART, H.A. Forest measurements. New York, McGraw Hill, 1983. 300 p.
02. BATISTA, J.L.F. & COUTO, H.T.Z. Escolha de modelos matemáticos para construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus* sp no Estado de São Paulo. IPEF. PIRACICABA (32):25-32. 1986.
- 03) BAILEY, R.L.; GRIDER, G.E.; RHENEY, J.W. & PIENAAR, L.V. Stand structure and yields for site prepared loblolly pine plantations in the piedmont and upper coastal plain of Alabama, Georgia and South Carolina. University of Georgia, Bulletin 328. 118 p. 1985.
04. BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L. & WARE, K.D. Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method. For. Sci. 30(2): 411-423. 1984.
05. BRICKELL, J.E. A method for constructing site index curves from measurements of tree age and height; its application to Inland Douglas fir. USDA. Forest Service Intermountain Forest and Range Exp. Station. Research paper INT 47. 23p. 1968.
06. CAMPOS, J.C.C. Equações para calcular índice de local e incremento da altura em plantações puras de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore 9(1):1-9. 1985.
07. CLUTTER, J.L.; FORSTON, J.C.; PIENAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons, New York. 1983. 333 p.
08. CLUTTER, J.L.; HARMS, W.R.; BRISTER, G.H. & RHENEY, J.W. Stand structure and yields of site-prepared loblolly pine plantations in the Lower coastal plain of the Carolinas, Georgia and North Florida. USDA For Serv. Gen. Tech. Rep. SE-27, 173 p. For Exp. Stn., Asheville, NC. 1984.
09. DRAPER, N. & SMITH, H. Applied regression analysis. John Wiley & Sons. New York. 1966. 407 p.
10. GRANEY, D.L. & BURKHART, H.E. Polymorphic site index curves for shortleaf pine in the Ouachita Mountains. USDA For. Serv., Res. Paper SO — 85. 1973.
11. KILLIAN, W. Site classification and mapping — principles and trends. Proc. symp. Site and Productivity of fast growing plantations, South Africa (1): 51-68. 1984.
12. KING, J.E. Site index curves for Douglas fir in the Pacif Northwest. Weyerhaeuser Forestry paper 8. 1966. 49 p.
13. KIRBY, C.L. Site index equations for lodgepole pine and white pine in Alberta. Edmouton, Northern Foerst Res. Centre, 12 p. Inform. Reprt NOR — X — 142. 1975.
14. LUNDGREN, A.L. & DOLID, W.A. Biological growth function describe published site index curves for lake States timber species. St. Paul. North Cent. Forest. Exp. Stn, Res. Pap. NC — 36. 1970. 9 p.
15. MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus taeda* na região central do Estado do Paraná. Floresta. Curitiba, 11(2):4-18. 1980.
16. MACHADO, S.A. The use of a flexible biological model for basal area growth and yields of *Pinus taeda*. In: IUFRO, Proceeding of Forest Research Inventory, Growth Models, Management Planning and Remonte Sensing. Fukuda. Japan. 1981.
17. SCHONAU. Problems in using vegetation or soil classification in determining site quality. South African Forestry Journal. 141:13-18. 1987.
18. SHOULDERS, E. Site characteristics influence relative performance of loblolly and slash Pine. Southern Forest Exp. Station, 15 p. Res. Paper SO 115. 1976.
19. SCOLFORO, J.R.S. & MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio para *Pinus elliottii* no Estado do Paraná e Santa Catarina. Revista Floresta. Vol. XVIII n.º 1 — 2. 1988.